

## **General Disclaimer**

### **One or more of the Following Statements may affect this Document**

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

(NASA-CR-173947) FORESTRY INVENTORY  
BASED ON MULTISTAGE SAMPLING WITH  
PROBABILITY PROPORTIONAL TO SIZE (Instituto  
de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 36 p  
HC A03/MF A01

N84-33855

G3

63

63

Unclas

22647



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO



RECEIVED BY  
NASA STI FACILITY  
DATE: 10-6-83  
DCAF NO. 202919  
PROCESSED BY  
☒ NASA STI FACILITY  
☐ ESA - SDS ☐ ALA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº INPE-2869-RPE/441	2. Versão	3. Data Set., 1983	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DSR/DDM	Programa REFLOR		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) INVENTÁRIO FLORESTAL AMOSTRAGEM EM MÚLTIPLO ESTÁGIO SENSORIAMENTO REMOTO			
7. C.D.U.: 528.711.7:634.0.5			
8. Título INPE-2869-RPE/441  INVENTÁRIO DE FLORESTA PLANTADA ATRAVÉS DE AMOSTRAGEM EM MÚLTIPLO ESTÁGIO COM PROBABILIDADE PROPORCIONAL À GRANDEZA		10. Páginas: 40	
		11. Última página: 32	
		12. Revisada por	
9. Autoria David Chung Liang Lee Pedro Hernandez Filho Yosio Edemir Shimabukuro		Antonio T. Tardin Antonio T. Tardin	
		13. Autorizada por	
Assinatura responsável <i>David Chung Liang Lee</i>		Nelson de Jesus Parada Diretor Geral	
14. Resumo/Notas Este trabalho tem por objetivo desenvolver e avaliar uma metodologia de inventário florestal, que utiliza os dados de sensoriamento remoto em múltiplo estágio, com probabilidade proporcional à área ocupada por classe mapeada, na área de estudo localizada no município de Mogiguacu, a qual compreende o Horto Santa Terezinha (Champion, Celulose e Papel) e Fazenda Campininha (Instituto Florestal de São Paulo). Esta área de teste foi escolhida por apresentar reflorestamentos com os gêneros Pinus e Eucalyptus em diferentes idades de plantio. Na primeira fase do trabalho foram utilizados, para o primeiro, segundo e terceiro estágios dados do LANDSAT, fotografias aéreas (pancromáticas, escala 1:35.000) e dados de campo, respectivamente. Na segunda fase foram utilizados para o primeiro, segundo e terceiro estágios dados do LANDSAT, fotografias aéreas (infravermelhas coloridas, escala 1:10.000) e dados de campo, respectivamente. No primeiro estágio, através da interpretação dos dados do LANDSAT, foram mapeadas duas classes de Pinus e de Eucalyptus em função da idade e homogeneidade do plantio. No segundo estágio da segunda fase a seleção das unidades terciárias de amostragem (UTAs) foi feita através das fotografias aéreas infravermelhas coloridas, minimizando o trabalho de campo do terceiro estágio. Os erros de amostragem para as classes Eucalyptus e Pinus variam de 8,34 a 21,89% e 7,18 a 8,60%, respectivamente. Os resultados alcançados mostram a potencialidade de inventariar as florestas plantadas através de método que utiliza três estágios com probabilidade proporcional à grandeza.			
15. Observações			

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
<u>CAPÍTULO 3 - INVENTÁRIO EM MÚLTIPLO ESTÁGIO</u> .....	5
3.1 - Considerações básicas .....	5
3.2 - Área de estudo Mogiguaçu .....	10
3.2.1 - Materiais e Métodos .....	10
3.2.1.1 - Descrição da área de estudo .....	10
3.2.1.2 - Dados de Sensoriamento Remoto .....	10
3.2.1.3 - Sistema I-100 .....	10
3.2.1.4 - Aparelhos utilizados .....	12
3.2.1.5 - Dados auxiliares .....	12
3.2.1.6 - Metodologia .....	12
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	19
4.1 - Primeira fase .....	19
4.2 - Segunda fase .....	23
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u> .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Fluxograma do inventário do volume de madeira em múltiplo estágio .....	6
3.2 - Esquema de um inventário de volume de madeira em múltiplo estágio .....	7
3.3 - Localização da área de estudo .....	11
3.4 - Procedimento, proposto por Strand(Veiga, 1976), para a obtenção de medidas no campo .....	14
3.5 - Uso da bengala dendrométrica para escolher as árvores para o cálculo da área basal .....	15
3.6 - Determinação do DAP da árvore para o cálculo da área basal .....	16
3.7 - Obtenção de medidas de altura para escolher as árvores para o cálculo de volume .....	17

CONTINUING PAGE BLANK NOT FILLED

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Valores estatísticos das UPAs no primeiro estágio .....	20
4.2 - Volume nos três estágios-1ª fase .....	21
4.3 - Volume médio de cada classe-1ª fase .....	22
4.4 - Erro de amostragem da estimativa do volume total de madeira das classes - 1ª fase .....	23
4.5 - Volume da classe Pinus nos três estágios - 2ª fase .....	25
4.6 - Volume da classe Euc-1 nos três estágios - 2ª fase .....	26
4.7 - Volume da classe Euc-2 nos três estágios - 2ª fase .....	27
4.8 - Volume médio de cada classe - 2ª fase .....	28
4.9 - Erro de amostragem da estimativa do volume total de madeira das classes - 2ª fase .....	28

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

- vii -

PAGE ✓ 1 INTENTIONALLY BLANK

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Com a finalidade de reduzir a importação de petróleo, utilizado como fonte de energia, o governo tem lançado alguns programas de substituição parcial desta matéria-prima. Assim sendo, o reflorestamento emerge como uma das fontes alternativas para a energia tradicional, que poderá contribuir, de maneira significativa, no esforço governamental para o equacionamento deste problema. Já foram realizados estudos sobre a viabilidade técnica e econômica da produção de álcool e coque siderúrgico a partir da madeira. Na Austrália, seu país de origem, o eucalipto será utilizado como fonte de energia, o que reduzirá sua dependência do petróleo. O Brasil possui uma área de 3 milhões de hectares reflorestados com eucalipto que, só em álcool etílico, poderia fornecer 11 bilhões e 100 milhões de litros, suficientes para atender todo o percentual de mistura à gasolina. Portanto, faz-se necessário determinar com exatidão a quantidade volumétrica de madeira nos povoamentos florestais. Vários métodos, que adotam sistemas de amostragem aleatória ou sistematizada, têm sido utilizados para a determinação do volume de madeira de florestas plantadas. Os resultados destes inventários florestais, por métodos convencionais, revelam uma determinada incerteza na sua precisão em função de não se considerar, de uma forma bem ampla, a homogeneidade do plantio. Diante deste quadro, o sensoramento remoto através da fotografia aérea e imagens de satélite apresenta-se como uma ferramenta útil e oportuna para o equacionamento desta situação. Este trabalho apresenta uma metodologia que utiliza os dados de sensoramento remoto em múltiplo estágio para o inventário de florestas plantadas, bem como representa um avanço na investigação de novas tecnologias que proporcionam o desenvolvimento de métodos modernos, rápidos, precisos e econômicos, para o equacionamento dos problemas florestais.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Alguns pesquisadores têm utilizado dados de sensoriamento remoto no desenvolvimento de sistemas de amostragens em múltiplo estágio para a determinação de volume de madeira.

Langley (1969 e 1975) desenvolveu e testou novas técnicas de amostragem em múltiplo estágio, com ampla aplicação nos levantamentos dos recursos terrestres. As amostras do primeiro estágio são selecionadas de imagens espaciais ou aéreas (de escala pequena), com probabilidade proporcional à predição (3P) relativa à quantidade de recursos terrestres contidos nas unidades da população. Aumentando a resolução das imagens, são obtidas subamostragens dentro dos estágios subsequentes, utilizando, da mesma forma, a probabilidade proporcional à predição. Finalmente, amostragem é empreendida no campo para obtenção de dados necessários para verdade terrestre.

Heller e Wear (1969) estudaram a infestação em floresta de Pinus Ponderosa (*Pinus Ponderosa* Laws) por besouro na Floresta Nacional de Black Hills nos USA (Wyoming e South Dakota), utilizando um sistema de amostragem em multiestágio, com probabilidade proporcional à predição, o qual consta de fotografias aéreas coloridas (escalas 1:31.680 e 1:8.000) e observações no campo para se determinar a orientação da propagação da infestação de besouro, o número e o volume das árvores atingidas.

Nichols et al. (1973) realizaram um inventário de volume de madeira baseado em análises visuais e automatizadas das imagens do satélite ERTS-1, suportadas por dados de aeronave e campo. Foram usadas técnicas de amostragem em múltiplo estágio que provaram ser mais rápidas e que apresentaram a relação custo/efetividade mais baixa, quando comparadas com métodos convencionais de inventário florestal. Foi estimado o volume de madeira da Floresta Nacional de Plumas, localizada no distrito de Quincy Ranger, na California, apresentando um erro de amostragem de 8,2%.



Kirby e Van Eck (1977) mostraram a utilidade das imagens LANDSAT e fotografias de pequenas e grandes escalas no desenvolvimento de desenhos amostrais em multiestágio, as quais demonstram a correlação da área ocupada por árvores comerciais, obtida pela interpretação de imagens de inverno do satélite LANDSAT, com estimativas de volume de madeira determinadas por sistema de amostragem em fotografias aéreas e campo. Foram desenvolvidas equações para determinação do diâmetro e volume das árvores através de medidas em fotografias aéreas de escala grande.

Bonner Jr. e Morgart (1980) desenvolveram estudos que utilizavam dados do LANDSAT para inventariar os recursos naturais de clima árido. Foram utilizadas técnicas de amostragem em múltiplo estágio através das quais procederam-se o mapeamento da cobertura terrestre, a descrição da composição das espécies florestais e a estimativa de área através da utilização dos dados do LANDSAT. Posteriormente, foi determinado o inventário de florestas e pastagem.

Rohde et alii (1979) conduziram um estudo com a finalidade de avaliar o uso de um procedimento de amostragem estratificada para estimar a área de classes de vegetação. Foram utilizados dados digitais do MSS do LANDSAT de agosto de 1977 e classificados nove tipos de cobertura da terra. Foram utilizadas fotografias aéreas coloridas e trabalho de campo, nas unidades amostrais selecionadas, a partir da classificação automática dos dados do LANDSAT. Foi verificado que estimadores de áreas podem ser empregados eficientemente para avaliar os tipos de vegetação quando se utilizam técnicas de amostragens nos dados do LANDSAT, fotografias aéreas e de campo.

Klein (1982) fez um levantamento em múltiplo estágio usando probabilidade proporcional ao tamanho (PPS), em três níveis, para estimar o número e o volume de árvores mortas. Utilizaram-se as fotografias aéreas panorâmicas, infravermelhas coloridas, tomadas do avião U-2.

## CAPÍTULO 3

### INVENTÁRIO EM MÚLTIPLO ESTÁGIO

#### 3.1 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Para a realização de um inventário florestal (volume de madeira), utilizando técnicas de sensoriamento remoto, delinea-se um sistema de amostragem, em múltiplo estágio (três estágios), com probabilidade variada. A fórmula geral de um estimador de três estágios com probabilidade variada, conforme Langley (1975), é

$$V_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{p_i n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{p_{ij} t_{ij}} \sum_{k=1}^{t_{ij}} \frac{V_{ijk}}{p_{ijk}}, \quad (1)$$

onde:

- $V_{ijk}$  = volume medido no 3º estágio;
- $p_i$  = probabilidade no sorteio da  $i$ -ésima unidade do primeiro estágio;
- $p_{ij}$  = probabilidade no sorteio da  $j$ -ésima unidade do segundo estágio dado a  $i$ -ésima unidade do primeiro estágio;
- $p_{ijk}$  = probabilidade no sorteio da  $k$ -ésima unidade do terceiro estágio, dadas as unidades do primeiro e segundo estágio;
- $m, n_i$  e  $t_{ij}$  = são os números das amostras do primeiro, segundo e terceiro estágios, respectivamente.

As Figuras 3.1 e 3.2 mostram o fluxograma e um esquema de um inventário de volume de madeira (múltiplo estágio), respectivamente.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

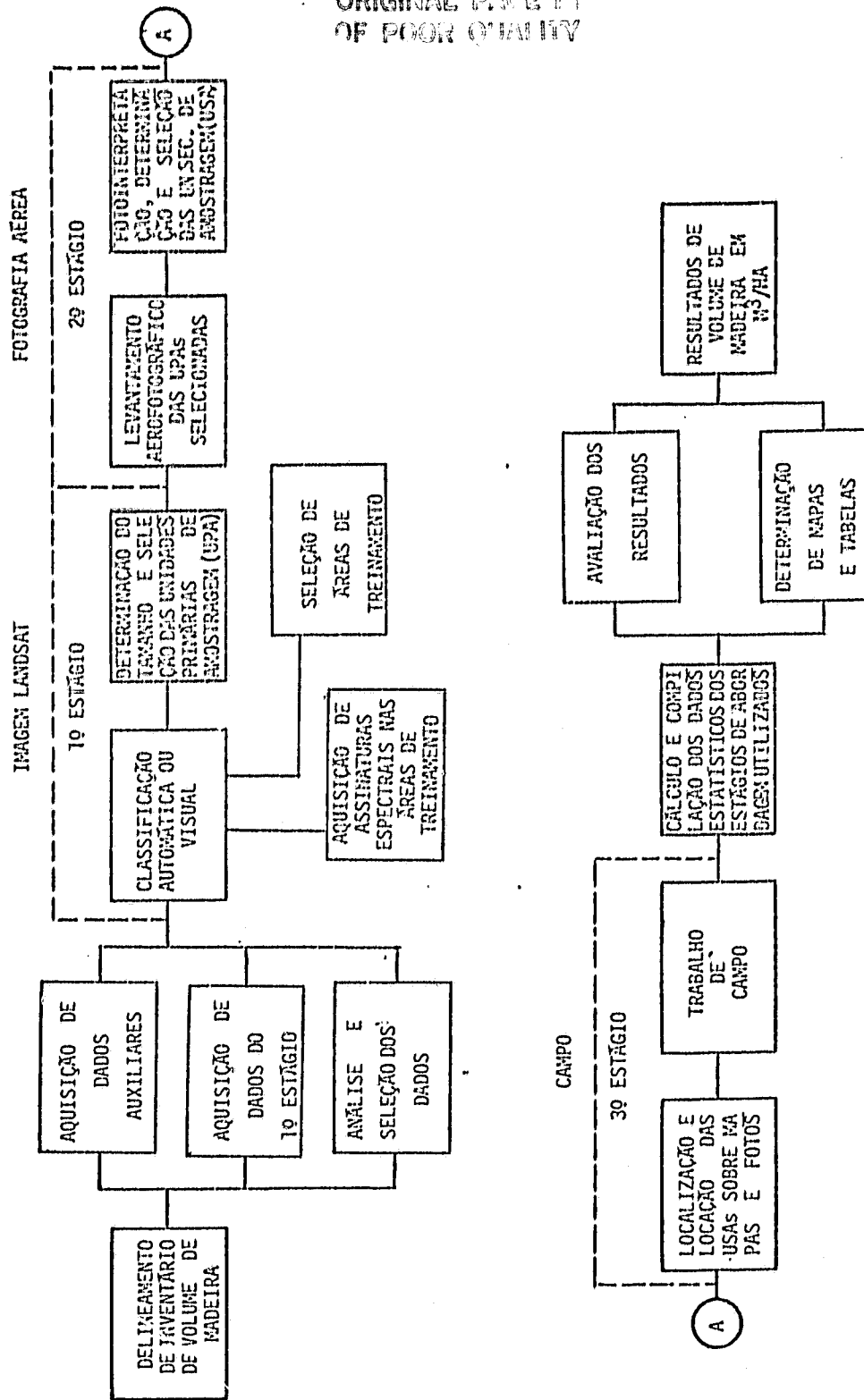
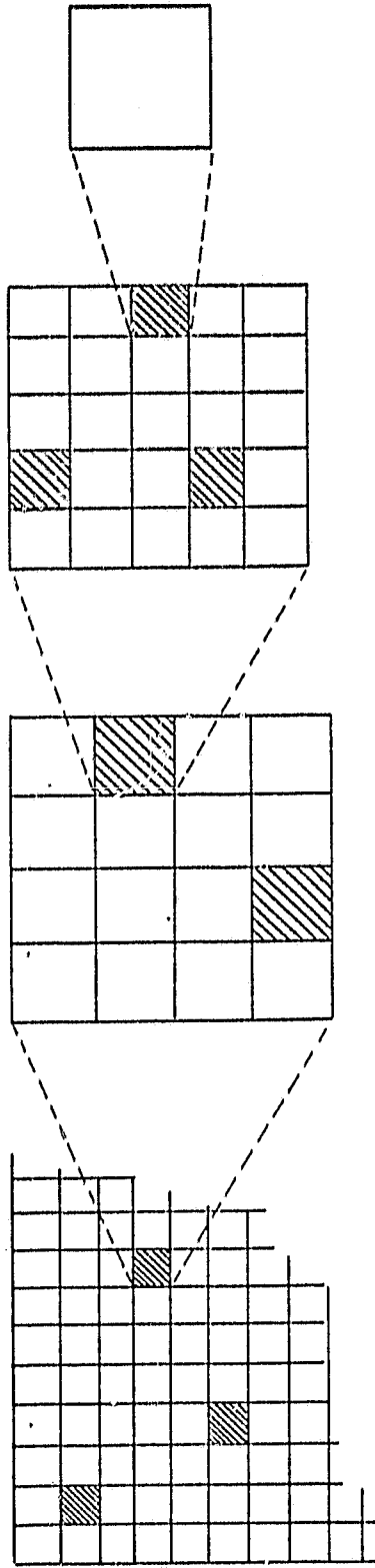


Fig. 3.1 - Fluxograma do inventário do volume de madeira em múltiplo estágio.

1º ESTÁGIO  
IMAGEM ORBITAL

2º ESTÁGIO  
FOTOGRAFIAS AÉREAS  
UNIDADE PRIMÁRIA  
DE AMOSTRAGEM (UPA)

3º ESTÁGIO  
CAMPO  
UNIDADE SECUNDÁRIA  
DE AMOSTRAGEM (USA)  
UNIDADE TERCIÁRIA  
DE AMOSTRAGEM (UTA)



$M$  = Nº TOTAL DE UPA;  
 $m$  = Nº DE AMOSTRAS DO  
1º ESTÁGIO;  
 $P_i$  = PROBABILIDADE DA  
 $i$ -ésima UNIDADE DO  
1º ESTÁGIO.

$N_j$  = Nº TOTAL DE USA;  
 $n_j$  = Nº DE AMOSTRAS DO  
2º ESTÁGIO;  
 $P_{ij}$  = PROBABILIDADE DA  
 $j$ -ésima UNIDADE DO  
2º ESTÁGIO DADO A  
 $i$ -ésima UNIDADE DO  
1º ESTÁGIO.

$T_{ij}$  = Nº TOTAL DE UTA;  
 $t_{ij}$  = Nº DE AMOSTRAS DO  
3º ESTÁGIO;  
 $P_{ijk}$  = PROBABILIDADE DA  
 $k$ -ésima UNIDADE DO  
3º ESTÁGIO;

$V_{ijk}$  = VOLUME MEDIDO  
NAS UTAS DO  
CAMPO.

Fig. 3.2 - Esquema de um inventário de volume de madeira em múltiplo estágio.

### a) Primeiro Estágio

No primeiro estágio de um inventário florestal são utilizados os dados orbitais (escala de 1:100.000 a 1:1.000.000) ou os dados de fotografias aéreas de escala pequena (1:50.000 a 1:100.000). Nestes dados, são procedidas as classificações automática ou visual dos alvos florestais, onde são definidos o tamanho e o número (M) das unidades primárias de amostragem (UPAs). O procedimento estatístico utilizado seleciona e distribui aleatoriamente o número de amostras (m), que são UPAs em função da probabilidade proporcional à grandeza.

O cálculo para determinação do número de amostras é definido pela seguinte fórmula:

$$m = \frac{t^2 \cdot (CV)^2}{(EE)^2}, \quad (2)$$

onde:

m = número de amostras;

t = valor "t" - para o inventário florestal é usado o valor  $t=1$  (Wiant, 1976);

CV = coeficiente de variação;

EE = erro de amostragem esperado.

### b) Segundo Estágio

No segundo estágio são realizados recobrimentos aerofotogramétricos (escala de 1:10.000 a 1:30.000) das amostras do primeiro estágio. É realizada a interpretação das UPAs e são definidos o tamanho e o número ( $n_j$ ) das unidades secundárias de amostragem (USAs). Também é utilizado um procedimento estatístico para selecionar e distribuir aleatoriamente o número de amostras ( $n_j$ ) das USAs em função da probabilidade proporcional à grandeza.

c) Terceiro Estágio

No terceiro estágio é realizado o trabalho de campo nas UTAs com o uso de aparelhos dendrométricos e são obtidas as medidas das árvores, com a finalidade de conseguir a área basal ( $m^2/ha$ ) e o volume ( $m^3/ha$ ), bem como outros parâmetros como fator de forma e fator de casca.

d) Avaliação

Após a aquisição dos dados do primeiro, segundo e terceiro estágios é feito o cálculo do volume total ( $V_t$ ) e a estimativa da variância. Langley (1975) propôs um estimador simplificado para utilizar na determinação da variância do primeiro estágio, em substituição à variância total. A fórmula é apresentada como:

$$\text{var}(\hat{V}_t) = \frac{1}{m(m-1)} \left( \sum_{i=1}^m \frac{V_i^2}{p_i^2} - m\hat{V}_t^2 \right), \quad (3)$$

onde:

$\hat{V}_t$  = é o estimador do volume total da população obtido por amostragem PPS;

$V_i$  = é o estimador do volume total da  $i$ -ésima unidade do primeiro estágio;

$p_i$  = é a probabilidade de selecionar a  $i$ -ésima unidade do primeiro estágio e

$m$  = é o número de unidades primárias na amostra.

O erro de amostragem (E.A.) pode ser calculado pela variância de  $\hat{V}_t$  como:

$$\text{E.A.} = \sqrt{\text{var}(\hat{V}_t)} \quad (4)$$

### 3.2 - ÁREA DE ESTUDO MOGIGUAÇU

#### 3.2.1 - MATERIAIS E MÉTODOS

##### 3.2.1.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Mogi Guaçu, Estado de São Paulo (Figura 3.3) e compreendida entre os paralelos de 22°05' e 22°20' de latitude sul e os meridianos de 47°00' e 47°15' de longitude oeste, a qual está contida na cena do satélite LANDSAT de órbita nº 178 e ponto nº 27. A área corresponde à Fazenda Campininha (Instituto Florestal de São Paulo) e ao Horto Santa Terezinha (Champion Celulose e Papel S/A) reflorestados com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

##### 3.2.1.2 - DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

###### a) Dados de Aerosensoriamento

Utilizaram-se as fotografias aéreas, pancromáticas, na escala 1:35.000, do ano de 1978 e as fotografias aéreas, infravermelhas coloridas, na escala 1:10.000, do ano de 1982 (INPE).

###### b) Dados Orbitais

Utilizaram-se os dados armazenados nas imagens MSS do satélite LANDSAT, apresentados na forma fotográfica (escala 1:250.000, canais 5 e 7) e as fitas compatíveis com o computador, referentes à órbita 178/27 de 10 de agosto de 1978.

##### 3.2.1.3 - SISTEMA I-100

O Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (I-100) foi utilizado com a finalidade de classificar e avaliar automaticamente áreas reflorestadas, através de imagens do satélite LANDSAT formatadas em fitas compatíveis com o computador (CCT).

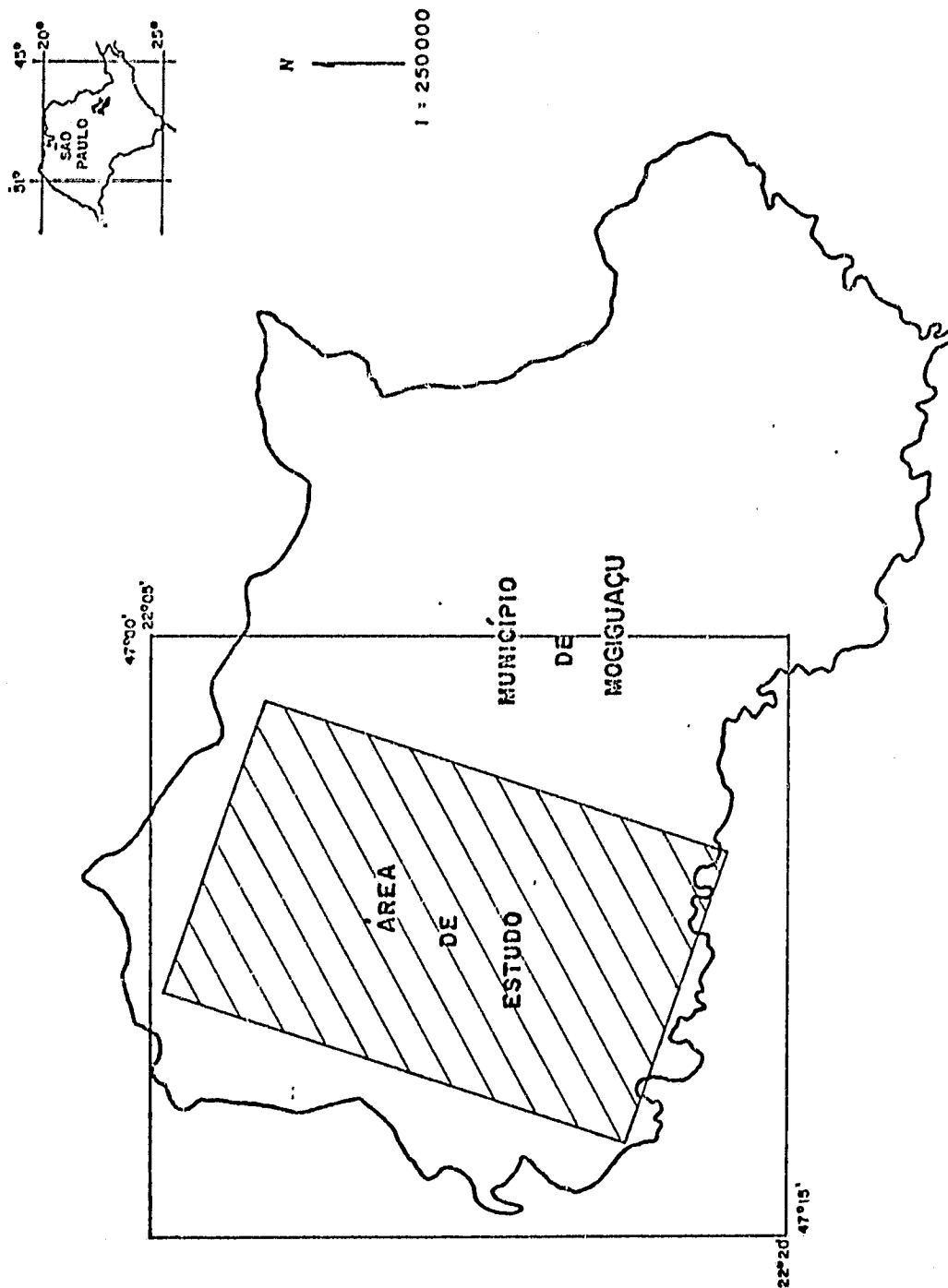


Fig. 3.3 - Localização da área de estudo.



Informações detalhadas sobre programas e funções do I-100 podem ser encontradas no Manual do Usuário da General Electric Company (1975).

#### 3.2.1.4 - APARELHOS UTILIZADOS

Para a obtenção de medidas dendrométricas no campo, foram utilizados os seguintes instrumentos: relascópio de Spiegel (escala métrica), altímetro de Haga, suta, bengala (fator nº 1) e tubo de Panamá (fator nº 1).

#### 3.2.1.5 - DADOS AUXILIARES

Utilizaram-se as Folhas Conchal e Rio Capetinga, na escala 1:50.000, do I.B.G.E. (1974), e os mapas de localização talhonor da Fazenda Campininha e do Horto Santa Terezinha para auxiliar na localização e locomoção na área de estudo.

#### 3.2.1.6 - METODOLOGIA

Na área de estudo, o inventário florestal foi realizado com o emprego do método que utiliza a abordagem em múltiplo estágio (LANDSAT, aeronave e campo), com probabilidade proporcional à grandeza.

##### a) Primeiro Estágio (LANDSAT)

Foram analisados automaticamente os dados digitalizados da imagem de agosto de 1978, do satélite LANDSAT, através do Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (I-100). Primeiramente, numa área de 13 x 21 km<sup>2</sup>, foi realizada uma ampliação da imagem para a escala de 1:100.000, utilizando o programa Escala, de modo que a área de estudo estivesse contida no terminal do vídeo do I-100. Para a classificação dos temas de interesse, foi utilizado o sistema MAXVER através do fornecimento de áreas de treinamento (classificação supervisionada). Foi obtido um mapa alfanumérico do resultado da classificação, na escala vertical 1:34.000 e horizontal 1:34.500, através do

programa "Impressão de temas". Posteriormente, a área de estudo foi dividida em quadrículas determinando-se a área de classe, com o objetivo de permitir a escolha das unidades primárias de amostragem, por probabilidade proporcional à grandeza das classes nas amostras.

b) Segundo Estágio (Aeronave)

O segundo estágio foi dividido em duas fases. Na primeira e segunda fases foram utilizadas as fotografias aéreas pancromáticas (escala 1:35.000) e as fotografias aéreas infravermelhas coloridas (escala 1:10.000), respectivamente. Em cada UPA foi estabelecida uma divisão quadricular com a finalidade de se avaliar a área das classes em cada unidade secundária de amostragem (USA). Na primeira e segunda fases, cada USA foi dividida em 16 e 25 quadrículas, respectivamente. Na primeira fase, pela escala utilizada, não foi possível a determinação das unidades terciárias de amostragem (UTAs). Na segunda fase, em cada quadrícula foram obtidas as densidades de copas, que permitem a definição das UTAs.

c) Terceiro Estágio (Campo)

O trabalho de campo foi realizado em dois períodos diferentes. No primeiro período, foram obtidos os dados da 1ª fase do terceiro estágio, onde, inicialmente, foram determinadas as áreas basais ( $m^2/ha$ ) nas 16 quadrículas com a finalidade de definir as UTAs. No segundo período, foram obtidos os dados da 2ª fase do terceiro estágio. Nos dois períodos, foram medidas as áreas basais, os volumes e alturas através do método do Strand (Veiga, 1976).

d) Método Utilizado para Mensuração no Campo

Para se determinar o volume médio, a área basal média e a altura média das árvores de uma amostra no campo utilizou-se o método de Strand (Veiga, 1976). Primeiramente, traça-se uma reta  $\overline{AB}$  com a dimensão de  $5\pi$  ou 15,70 metros (Figura 3.4).

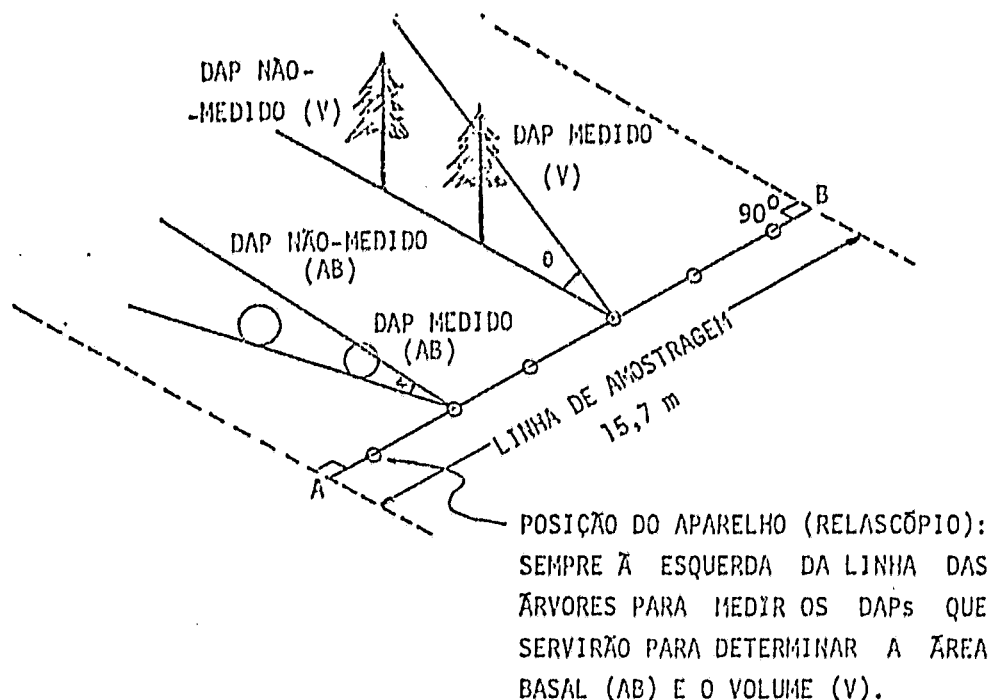


Fig. 3.4 - Procedimento, proposto por Strand(Veiga, 1976), para a obtenção de medidas no campo.

O cálculo da área basal (AB) é feito com o auxílio de uma bengala (Figura 3.5) ou de outro instrumento de fator 1, visando as árvores localizadas a um lado da reta  $\overline{AB}$  e que pertençam ao retângulo cuja base é 15,70m e cuja altura corresponda a 50 vezes o diâmetro da altura do peito (DAP) da árvore-limite. Serão medidos os DAPs das árvores localizadas dentro do retângulo, cujos diâmetros são maiores que o ângulo de visada do aparelho (Figura 3.6). A somatória destes diâmetros, dividida por 10, dará a área basal ( $m^2/ha$ ), segundo a fórmula simplificada:

$$AB = \frac{\sum di}{10}, \quad (5)$$

onde:

$di$  = diâmetro,  $\bar{a}$  altura do peito, das árvores que entram para o cálculo de área basal;

$AB$  = área basal ( $m^2/ha$ ).



Fig. 3.5 - Uso da bengala dendrométrica para escolher as árvores para o cálculo da área basal.

ORIGINAL PAGE  
COLOR PHOTOGRAPH



Fig. 3.6 - Determinação do DAP da árvore para o cálculo da área basal.

Para o cálculo de volume ( $m^3/ha$ ), todas as árvores localizadas a um lado da reta  $\overline{AB}$ , cuja altura seja, pelo menos, o dobro da distância do observador à árvore, serão medidas em DAP (Figura 3.7).



Fig. 3.7 - Obtenção de medidas de altura para escolher as árvores para o cálculo de volume.

A somatória dos quadrados dividida por 10, multiplicado pelo fator de forma do povoamento fornecerá o volume em  $m^3/ha$ , conforme verificado na seguinte fórmula simplificada:

$$V = \sum \frac{dj^2}{10} \cdot FF, \quad (6)$$

onde:

$d_j$  = diâmetro, à altura do peito, das árvores que entram para cálculo do volume;

$V$  = volume ( $m^3/ha$ ) com casca;

FF = fator de forma (0,43 e 0,50 para *Pinus* e *Eucalyptus*, respectivamente).

Para se obter a altura de Strand, divide-se a somatória dos quadrados dos diâmetros utilizados no cálculo de volume pela somatória dos diâmetros, usada na determinação da área basal média, conforme é verificado na seguinte fórmula:

$$H_m = \frac{\sum d_j^2}{\sum d_i}, \quad (7)$$

onde:

$H_m$  = altura total média de Strand (m).

Em cada UTA, este procedimento de mensuração foi repetido 4 vezes para se obter sua melhor representação.

#### e) Avaliação

Em cada UTA, para cada classe, foram obtidas 4 medidas de volume ( $m^3/ha$ ) através da Fórmula 6. Posteriormente, com a determinação do volume médio ( $m^3/ha$ ), foi calculado o volume da UTA ( $m^3/\text{área de UTA}$ ). Utilizando a Fórmula 1 foi obtido o volume total da área de estudo para as duas fases do trabalho. Para determinação do erro de amostragem foi calculada a variância pela Fórmula 3.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão do inventário florestal em três estágios são apresentados para as duas fases do trabalho.

#### 4.1 - PRIMEIRA FASE

No primeiro estágio foi feita a classificação automática nas imagens do satélite LANDSAT, estabelecendo as seguintes classes:

- Pinus-1 (área reflorestada com o gênero *Pinus*, com a idade superior a 15 anos e plantio uniforme);
- Pinus-2 (área reflorestada com o gênero *Pinus*, com a idade superior a 15 anos e plantio desuniforme);
- Eucalipto-1 (área reflorestada com o gênero *Eucalyptus* com a idade superior a 3 anos e plantio uniforme);
- Eucalipto-2 (área reflorestada com o gênero *Eucalyptus* com a idade entre 1 e 3 anos e plantio desuniforme).

A partir dos resultados da classificação apresentados na forma de mapa alfanumérico, foi feita uma avaliação das 4 classes, em cada UPA, possibilitando a determinação dos valores estatísticos, conforme mostrado na Tabela 4.1.

Conforme os valores apresentados na Tabela 4.1, o erro esperado (EE) foi préestabelecido em 20% e os coeficientes de variação (CV) foram determinados através de uma análise preliminar do número total das UPAs de cada classe. Quanto maior o CV maior será a quantidade de UPAs necessárias para representar a classe. O número de UPAs determinadas para as classes Pinus-1, Pinus-2, Euc-1 e Euc-2 foram 4, 3, 3 e 8, respectivamente e foram relacionadas pela probabilidade proporcio



nal à área ocupada pelas classes. Utilizou-se um número mínimo de duas USAs e duas UTAs para cada UPA e USA, respectivamente. Assim sendo, o número total de amostras para medir no campo seria de 64, o que necessitaria de um trabalho muito extenso em função da disponibilidade de tempo e recursos financeiros. Por isso, foi selecionado um mínimo de duas amostras por classe, em cada estágio, resultando em 32 UTAs a serem medidas no campo.

TABELA 4.1

VALORES ESTATÍSTICOS DAS UPAs NO PRIMEIRO ESTÁGIO

VALORES ESTATÍSTICOS CLASSES	NÚMERO TOTAL DE UPAs	CV (%)	EE (%)	NÚMEROS DE UPAs NECESSÁRIAS
PINUS-1	47	42,0	20	4
PINUS-2	30	37,2	20	3
EUC-1	25	34,6	20	3
EUC-2	118	56,9	20	8

A Tabela 4.2 apresenta a probabilidade proporcional à área ocupada pela classe, o volume (por amostra e estágio) e o volume total (m<sup>3</sup>).

Pela Tabela 4.2, verifica-se que os volumes ( $V_{ijk}$ ) das UTAs da classe EUC-1, obtidos no campo, apresentam valores menores que as classes Pinus-1 e Pinus-2. Estes dados eram esperados, visto que, os reflorestamentos efetuados com o gênero *Pinus* apresentam idade superior aos do gênero *Eucalyptus*. Entre as classes Pinus-1 e Pinus-2, existe uma diferença pouco significativa entre volumes encontrados nas UTAs.

# VOLUME NOS TRÊS ESTÁGIOS-1a FASE

[illegible]

O volume total estimado ( $\bar{V}_t$ ) da classe Pinus-1 apresenta-se superior ao das outras classes, em razão de apresentar uma maior área de plantio.

A Tabela 4.3 apresenta o volume médio ( $m^3/ha$ ) de cada classe, na primeira fase.

TABELA 4.3

VOLUME MÉDIO DE CADA CLASSE-1ª FASE

CLASSE	VOLUME TOTAL ( $m^3$ )	ÁREA TOTAL (ha)	VOLUME MÉDIO ( $m^3/ha$ )
Pinus-1	268.104,03	1.614,37	166,07
Pinus-2	145.772,98	926,56	157,33
Euc-1	34.856,60	680,23	124,75

Os valores dos volumes médios ( $m^3/ha$ ) das classes Pinus-1 e Pinus-2 não apresentam uma diferença significativa, pois os plantios possuem idade semelhante.

Em virtude da necessidade de medir as 16 unidades da USA para selecionar as UTAs, foi despendido muito tempo no campo, resultando na impossibilidade da obtenção de medidas para a classe Euc-2. Portanto, foram medidas somente 24 UTAs.

A Tabela 4.4 apresenta o erro de amostragem da estimativa do volume total de madeira das classes na primeira fase.

TABELA 4.4

ERRO DE AMOSTRAGEM DA ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL DE MADEIRA DAS CLASSES  
1ª FASE

CLASSE	VOLUME TOTAL (m <sup>3</sup> )	ERRO PADRÃO (m <sup>3</sup> )	ERRO DE AMOSTRAGEM DO VOLUME TOTAL (%)
Pinus-1	268.104,03	± 22.949,62	8,60
Pinus-2	145.772,98	± 16.362,55	11,25
Euc-1	84.856,60	± 7.045,33	8,34

4.2 - SEGUNDA FASE

No primeiro estágio da segunda fase, através da classificação automática, foram definidas as seguintes classes: Pinus, Eucalipto-1 e Eucalipto-2. As classes Pinus-1 e Pinus-2 foram reunidas na classe Pinus, em razão de apresentarem na fase anterior uma diferença pouco significativa de volume (m<sup>3</sup>/ha) entre elas.

O número de UPAs nesta fase foi o mesmo da primeira, pois representam a quantidade mínima necessária para a realização do trabalho. Assim sendo, definiram-se duas amostras por classe, representando um total de 6 UPAs.

Foram escolhidas aleatoriamente 3 USAs para cada UPA, pela probabilidade proporcional à área ocupada por cada classe. Assim sendo, foram definidas 18 USAs para o segundo estágio. Foram escolhidas aleatoriamente 3 UTAs para cada USA, pela probabilidade proporcional à densidade de copa de cada classe. Portanto, foram determinadas 54 UTAs para o terceiro estágio. O número de UTAs nesta fase foi muito superior ao da primeira fase. Este aumento foi devido à utilização das fotografias aéreas infravermelhas coloridas, as quais permitiram a avaliação da densidade das copas nas unidades da USA, resultando na disponibilidade de tempo para a obtenção de medidas das UTAs no campo.

A Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam os resultados obtidos na segunda fase, para as classes Pinus, Euc-1 e Euc-2, respectivamente. Estes resultados são relativos à probabilidade proporcional à área ocupada por cada classe, o volume por amostra e estágio e o volume total estimado ( $m^3$ ).

Pelas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 verifica-se que os volumes ( $V_{ijk}$ ) das UTAs da classe Euc-2 obtidos no campo, apresentam diferenças bem significativas em relação às classes Pinus e Euc-1. Estas diferenças eram esperadas em virtude de as áreas reflorestadas com as classes Pinus e Euc-1 possuírem idade superior às das classes Euc-2.

A Tabela 4.8 apresenta o resultado do volume médio ( $m^3/ha$ ) de cada classe na segunda fase. Os valores dos volumes médios ( $m^3/ha$ ) das Euc-1 e Euc-2 apresentaram uma diferença significativa, pois, os plantios possuem idades diferentes.

A Tabela 4.9 apresenta o erro de amostragem da estimativa do volume total de madeira das classes na segunda fase.

Pela Tabela 4.9 verifica-se que a classe Pinus apresenta um erro de amostragem (7,18%) aceitável e inferior ao erro esperado (20%). Por outro lado, as classes Euc-1 e Euc-2, com um erro de amostragem de 20,77% e 21,89%, respectivamente, apresentam valores relativamente mais altos. Para diminuir o erro de amostragem, seria necessário aumentar o número de amostras no campo.

TABELA 4.5

# VOLUME DA CLASSE PINUS NOS TRÊS ESTÁGIOS

## 2ª FASE

[illegible]

TABELA 4.6

VOLUME DA CLASSE EUC-1 NOS TRÊS ESTÁGIOS

2ª FASE

UTA					USA					UPA					VOLUME TOTAL $V_t(m^3)$
$V_{ijk}$	$P_{ijk}$	$\frac{V_{ijk}}{P_{ijk}}$	$\sum \frac{V_{ijk}}{P_{ijk}}$	$t_{ij}$	$V_{ij}$	$P_{ij}$	$\frac{V_{ij}}{P_{ij}}$	$\sum \frac{V_{ij}}{P_{ij}}$	$n_i$	$V_i$	$P_i$	$\frac{V_i}{P_i}$	$\sum \frac{V_i}{P_i}$	$m$	
39,56	0,062	638,506	1768,43	3	589,48	0,043	13670,31								
33,79	0,063	540,280													
37,22	0,063	589,647													
44,39	0,066	676,083													
40,21	0,064	624,039	1914,57	3	638,19	0,039	16357,73	46498,31	3	15499,44	0,0621	249498,02			
38,10	0,062	614,449													
36,72	0,060	613,681													
35,26	0,062	564,166	1775,50	3	591,83	0,036	16470,27								
38,94	0,065	597,652													
8,56	0,083	103,298													
7,89	0,084	91,927	329,96	3	109,99	0,187	588,00								
11,03	0,082	134,737													
10,17	0,024	41,580													
10,67	0,157	63,021	176,41	3	58,80	0,094	639,41	4631,56	3	1543,86	0,0094	163669,44			
12,55	0,175	71,807													
40,87	0,232	176,369													
50,89	0,390	130,411	440,78	3	146,93	0,043	3404,15								
50,66	0,376	134,004													
													413167,46	2	205583,73





TABELA 4.8

VOLUME MÉDIO DE CADA CLASSE  
2ª FASE

CLASSE	VOLUME TOTAL (m³)	ÁREA TOTAL (ha)	VOLUME MÉDIO (m³/ha)
Pinus	297.621,12	1.810,48	164,39
Euc-1	206.583,73	1.402,15	147,33
Euc-2	15.980,51	341,07	46,85

TABELA 4.9

ERRO DE AMOSTRAGEM DA ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL DE MADEIRA DAS CLASSES  
2ª FASE

CLASSE	VOLUME TOTAL (m³)	ERRO PADRÃO (m³)	ERRO DE AMOSTRAGEM DO VOLUME TOTAL (%)
Pinus	297.621,12	± 21.372,67	7,18
Euc-1	206.583,73	± 42.914,03	20,77
Euc-2	15.980,51	± 3.499,30	21,89

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O estudo sobre inventário florestal em múltiplo estágio (três estágios) utilizou as fotografias aéreas pancromáticas, na escala 1:35.000 (1ª fase), e infravermelhas coloridas, na escala 1:10.000 (2ª fase), para determinação das USAs no segundo estágio.

O primeiro estágio, utilizando a interpretação automática dos dados do satélite LANDSAT, permitiu o mapeamento das classes Pinus-1 (área reflorestada com o gênero *Pinus*, com a idade superior a 15 anos e plantio uniforme), Pinus-2 (área reflorestada com o gênero *Pinus*, com a idade superior a 15 anos e plantio desuniforme), Euc-1 (área reflorestada com o gênero *Eucalyptus* com a idade superior a 3 anos e plantio uniforme) e Euc-2 (área reflorestada com o gênero *Eucalyptus*, com a idade entre 1 e 3 anos e plantio desuniforme).

Os volumes médios das classes Pinus-1 (166,07 m<sup>3</sup>/ha) e Pinus-2 (157,33 m<sup>3</sup>/ha), na primeira fase, não apresentaram uma diferença significativa que indicasse a necessidade de promover uma separabilidade entre estas duas classes. Em função disso, na 2ª fase do trabalho, somente foram definidas as classes Pinus, Euc-1 e Euc-2.

Na segunda fase do trabalho, a seleção das UTAs foi feita através da análise das fotografias aéreas infravermelhas coloridas, minimizando as tarefas no campo do terceiro estágio.

Em relação aos métodos convencionais de inventário florestal, este estudo apresenta a vantagem de reduzir a obtenção de dados no campo, a diminuição da quantidade de fotografias aéreas e a determinação do volume de modo mais rápido.

Os resultados alcançados revelam as potencialidades do método de inventário florestal, que utiliza abordagem em três estágios com probabilidade proporcional à grandeza (área, área basal, volume,

número de árvores, etc.). Em função disso, sugere-se a continuidade deste estudo para reflorestamentos que ocupam grandes extensões no terreno.

É recomendado que se faça um estudo mais detalhado para a determinação do número e do tamanho das amostras dos três estágios em áreas mais extensas de reflorestamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONNER Jr., W.J.; MORGART, J. LANDSAT: A Sampling Frame for Arid Land Inventories. In: ARID LAND RESOURCE INVENTORIES: DEVELOPING COST-EFFICIENT METHODS; International Workshop, La Paz, México, 1980. Local, United States Department of Agriculture, Forest Service, 1980, p. 230-239. (General Technical Report WO-28).
- GENERAL ELECTRIC. *Image-100 - Interactive multispectral image analysis system user manual*. Daytona, 1975.
- HELLER, R.C.; WEAR, J.F. Sampling forest insect epidemics with color films. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, MI. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willow Run Laboratories, 1969, v. 2, p. 1157-1167.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Carta do Brasil*. Rio de Janeiro, Escala 1:50.000, 1974.
- KIRBY, C.L.; ECK, P.I. Van. A basic for multistage forest inventory in the boreal forest region. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 4., Quebec, 1977. *Proceedings*. Ottawa, Ontário, Canadian Aeronautics and Space Institute, 1977, v. 4, p. 72-94.
- KLEIN, W.H. Estimating Bark Beetle-Killed Lodgepole pine with High Altitude Panoramic Photography. *Journal of the American Society of Photogrammetry*, 45(4):733-737, Apr. 1982.
- LANGLEY, P.G. New multi-stage sampling techniques using space and aircraft image for forest inventory. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT; 6., Ann Arbor, MI, 1969. *Proceedings*. Ann Arbor, -MI, Willow Run Laboratories, 1969, v. 2, p. 1179-1183.
- LANGLEY, P.G. *Multistage variable probability sampling: theory and use in estimating timber resources from space and aircraft photography*. PH. D. Dissertation, Berkeley, University of California, Berkeley, 1975.

- NICHOLS, J.D.; GIALDINI, M.; JAAKOLA, S. A timber inventory based upon manual and automated analysis of ERTS-1 and supporting aircraft data using multistage probability sampling. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, NASA, 1974, v. 1A, p. 145-157.
- ROHDE, W.G.; MILLER, W.A.; BONNER, K.G. A stratified-cluster sampling procedure applied to a wildland vegetation inventory using remote sensing. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann arbor, MI, ERIM, 1979, v. 1, p. 167-179.
- VEIGA, A.A. *Curso de atualização florestal*. 3. ed. São Paulo Instituto Florestal, 1976.
- WIANT Jr., H.V. *Elementary 3P sampling*. West Virginia, University Agricultural and Forestry Experimental Station, 1976.